

**В.Е. Зуев**

## **СОРОК ЛЕТ ОПТИКЕ АТМОСФЕРЫ В ТОМСКЕ**

Оптика атмосферы в Томске зародилась практически одновременно с Сибирским отделением АН СССР (ныне СО РАН). Институт оптики атмосферы СО РАН СССР был открыт на базе лаборатории инфракрасных излучений Сибирского физико-технического института Томского государственного университета в сентябре 1969 г. Зарождение же лаборатории началось с нуля. Сибирскому физико-техническому институту соответствующим правительственным постановлением было поручено выполнение темы, связанной с исследованием эффективности работы теплопеленгаторов при различных условиях в атмосфере. Научным руководителем этой темы была назначена профессор Н.А. Прилежаева, в то время заведующая лабораторией спектроскопии физического факультета Томского госуниверситета, а ответственным исполнителем доверили быть мне, выпускнику физического факультета Томского госуниверситета 1951 г., защитившему кандидатскую диссертацию в 1954 г. Одновременно столь же срочно необходимо было заняться формированием коллектива.

В 1955 г. мне было поручено чтение четырехсеместрового курса лекций по физике студентам физического факультета Томского госуниверситета. По итогам первого экзамена в январе 1956 г. я отобрал 4 способных студентов, организовал кружок и вел его на протяжении всех лет их обучения в университете по одному занятию в неделю. По окончании университета троих из них я рекомендовал в аспирантуру, четвертый был распределен в Москву. Первые трое защитили в срок свои кандидатские диссертации в 1962 г. и составили основу научного коллектива по оптике атмосферы. Все они стали заведующими лабораториями Института оптики атмосферы, в 1972–1973 гг. они защитили докторские диссертации. Один из них переехал на работу в Институт экспериментальной метеорологии в Обнинск, сегодня он известный специалист по лазерному зондированию атмосферы, это д.ф.-м.н. С.С. Хмелевцов, двое других – М.В. Кабанов и С.Д. Творогов – продолжают работать в Институте оптики атмосферы. Оба избраны членами-корреспондентами РАН.

Анализ успешно выполненной в 1958 г. правительственной темы на основе измерений интегральной прозрачности приземного слоя атмосферы для излучений, генерируемых нагретыми телами до различных температур в интервале от 100 до 500 °С, показал, что полученные данные имеют ограниченное применение в основном для оценки эффективности работы теплопеленгаторов. Стало ясно, что пришло время решения комплексной проблемы распространения оптических волн в атмосфере в универсальной постановке, а именно: развитие теорий и экспериментальных методов исследований, которые бы в совокупности могли обеспечить получение количественных данных о влиянии атмосферы на изменение параметров оптической волны для произвольно заданных реалистических физических моделей атмосферы, различных геометрий распространения излучения и его параметров, а также характеристик приемных устройств.

Эта постановка, грандиозная сама по себе, потребовала соответствующего комплексного подхода к проблеме распространения оптических волн в атмосфере. Такой подход начал осуществляться в уже созданной к этому времени лаборатории инфракрасных излучений СФТИ. Его первые реализации были представлены в кандидатских диссертациях М.В. Кабанова, С.С. Хмелевцова и С.Д. Творогова, первые две в основном были экспериментальными, а третья – теоретическая, но ее результаты были использованы в первых двух. Защищенная мною в 1964 г. докторская диссертация была дальнейшим развитием этого подхода.

Успешному развитию указанного комплексного подхода способствовала великолепная возможность «поштучного» отбора молодых специалистов из числа лучших студентов Томского госуниверситета и Томского политехнического института, первый из которых основан в 1880 г., а второй в 1895 г. Эти два высших учебных заведения были единственными на огромной террито-

рии царской России за пределами Урала. Метод «поштучного» отбора, несомненным автором которого следует считать основателя Сибирского отделения АН СССР, известного математика М.А. Лаврентьева, сыграл огромную роль во всем развитии оптики атмосферы в Томске.

К моменту организации Института оптики атмосферы в лаборатории инфракрасных излучений СФТИ был создан коллектив ученых, инженеров и техников, успешно развивающий такие основные направления оптики атмосферы, как поглощение оптических волн атмосферными газами; их рассеяние аэрозольными ансамблями частиц, включая дымки, облака, туманы, осадки; флуктуации амплитуды и фазы волн, обусловленные турбулентностью атмосферы. Все эти направления могут быть объединены в одно под названием «Исследование влияния атмосферы на распространение в ней оптических волн или прямые задачи оптики атмосферы». По этим направлениям велись параллельно как теоретические, так и экспериментальные исследования, а в связи с этим и разработки необходимой аппаратуры.

## **Основные результаты деятельности Института оптики атмосферы за 27 лет**

Открытие Института оптики атмосферы на базе лаборатории инфракрасных излучений СФТИ создало принципиально новые возможности не только для мощного развития современной оптики атмосферы, основы которой были заложены за предыдущие 13 лет в составе СФТИ. Появились принципиально новые направления деятельности, среди которых прежде всего следует назвать решение обратных задач оптики атмосферы, лазерное зондирование атмосферы поверхности океана. Особое внимание уделено созданию уникальной современной материальной базы фундаментальной науки, экспериментальных мастерских, конструкторского бюро.

Через два года после открытия Института было учреждено Специальное конструкторское бюро «Оптика», основная цель которого заключалась в разработке сложнейшей современной экспериментальной техники для обеспечения фундаментальных исследований по всем направлениям оптики атмосферы. Был создан достаточно мощный вычислительный центр Института, оснащенный вычислительными машинами отечественного производства. Были построены главный корпус, корпуса модельных установок, экспериментальных мастерских, полигона и другие бытовые объекты общей суммарной площадью, превышающей 20 000 м<sup>2</sup>.

Создание СКБ «Оптика» (ныне Конструкторско-технологический институт СО РАН) обеспечило реализацию цепочки научно-технического прогресса: от академической идеи через фундаментальные и прикладные исследования к конструкторской разработке и созданию экспериментальных и оптических образцов новой техники, а также в ряде случаев опытных образцов и малосерийного производства. Более детально на деятельности КТИ «Оптика», входящего в Объединенный институт оптики атмосферы, мы остановимся в конце этой статьи.

Ниже рассмотрим основные результаты деятельности Института по различным направлениям, включая последние годы общего кризиса науки в России.

## **I. Спектроскопия атмосферных газов**

### *1. Теоретические исследования*

В лаборатории теоретической молекулярной спектроскопии, основателем которой является Ю.С. Макушкин, были развернуты работы по созданию теории тонкой структуры колебательно-вращательных спектров. Развитый им метод эффективных гамильтонианов и полученные результаты были предметом его докторской диссертации. В связи с его переводом на работу ректором Томского университета работы были продолжены В.Г. Тютеревым, защитившим и кандидатскую, и докторскую диссертации в Институте (в настоящее время он один из признанных лидеров молекулярной теоретической спектроскопии в мире), и доведены, благодаря созданным им математическим моделям, до современного состояния, при котором удастся теоретически синтезировать колебательно-вращательные спектры различных газов атмосферы с высочайшей точностью, а именно с точностью лучших экспериментальных данных, получаемых на уникальных Фурье-спектрометрах (для положения центров линий она соответствует величине  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  см<sup>-1</sup>). Дальнейшее свое развитие теория В.Г. Тютерева нашла в докторской диссертации его учеников – В.И. Старикова и В.И. Перевалова. Отметим, что профессор Ю.С. Макушкин проработал ректором Томского университета 10 лет и был избран академиком Российской академии Высшей школы, а его ученик О.Н. Улеников разрабо-

тал оригинальные методы идентификации тонкой структуры колебательно-вращательных спектров молекул, легшие в основу его докторской диссертации.

С.Д. Творогов создал оригинальную строгую теорию континуального поглощения, обусловленного далекими крыльями линий поглощения газов, базирующуюся на первых физических принципах и количественно объясняющую причины противоречивости экспериментальных данных различных авторов. Являясь основателем лаборатории статистической оптики Института и ее заведующим все 27 лет, он внес решающий вклад в развитие теоретических программ всего Института.

Проблемы применения развитой С.Д. Твороговым теории были обстоятельно развиты в докторской диссертации его ученика В.В. Фомина.

Бесспорно, крупным вкладом С.Д. Творогова в науку следует признать развитое им совместно с его учеником Е.П. Гордовым полуклассическое представление задач квантовой оптики, выходящее далеко за пределы проблем спектроскопии. Докторская диссертация Е.П. Гордова была посвящена именно этой проблеме.

Отметим также докторские диссертации А.Б. Быкова и В.П. Кочанова по актуальным современным проблемам теоретической молекулярной спектроскопии. Первая из них посвящена разработке и созданию алгоритмов количественной интерпретации экспериментальных данных о колебательно-вращательных спектрах поглощения различных типов молекул атмосферных газов. Во второй на современном уровне решена большая совокупность задач нелинейной спектроскопии контура спектральных линий.

## *2. Экспериментальные исследования*

С самого основания Института лабораторию лазерной спектроскопии возглавляет В.П. Лопасов. Он создал первый в мире лазерный спектрометр на базе лазера на рубине и многоходовой кюветы с базой 5 м. Развивая это новое направление, он защитил кандидатскую и докторскую диссертации и подготовил целую группу специалистов в этой области.

Наиболее обширные результаты по исследованию спектров поглощения атмосферных газов с помощью значительного количества сверхвысокочувствительных внутрирезонансных и оптоакустических лазерных спектрометров провел Л.Н. Синица, являющейся и создателем этих спектрометров, позволивших впервые зарегистрировать многие тысячи линий поглощения и десятки колебательно-вращательных полос целой совокупности атмосферных газов и их изотопов, чему и были посвящены его кандидатская и докторская диссертации, защищенные в Институте.

Ю.Н. Пономарев защитил кандидатскую и докторскую диссертации, посвященные развитию оптоакустической лазерной спектроскопии на базе построенных в корпусе модельных установок двух уникальных многоходовых кювет (одна с базой 30 м, вторая 110 м). Ему удалось получить рекордную длину лазерного пучка в контролируемых лабораторных условиях до 10–12 км и провести исследование тонких эффектов, связанных с изменением положения центров линий поглощения различных газов, обусловленных изменениями давления и температуры. Полученные результаты легли в основу создания соответствующей базы данных.

## **II. Оптика атмосферного аэрозоля**

### *1. Теоретические исследования*

Ученик С.Д. Творогова А.Г. Боровой развил оригинальную теорию многократного рассеяния оптического излучения в аэрозольной среде, обеспечивающую количественные оценки флуктуаций параметров волны, обусловленных пространственными неоднородностями аэрозоля, с учетом флуктуаций, вызванных турбулентностью атмосферы. Эта работа легла в основу его докторской диссертации.

Г.М. Креков после стажировки в вычислительном центре СО АН СССР в Новосибирске в лаборатории ныне члена-корреспондента РАН Г.А. Михайлова, ученика академика Г.И. Марчука, разработал алгоритмы метода Монте-Карло, адаптированные для решения задач распространения лазерных пучков в аэрозольной среде, и на этой основе защитил кандидатскую диссертацию, работая в лаборатории инфракрасных излучений СФТИ, а затем докторскую в Институте оптики атмосферы. С помощью этих алгоритмов были решены различные важные задачи, в том числе задача, связанная с определением границ применимости закона Бугера.

В докторской диссертации Г.А. Титова развита теория, обеспечивающая получение количественных данных в 4-мерном поле рассеянной солнечной радиации в атмосфере в условиях статистически неоднородной разорванной облачности. Признанием оригинальности этой теории является участие нашего Института в национальной программе США по атмосферным радиационным измерениям именно по направлению, разработанному Г.А. Титовым.

В.В. Белов развил теорию переноса оптических сигналов, позволяющую количественно оценивать искажающее влияние аэрозолей на качество изображений, передаваемых через реальную атмосферу, и легшую в основу его докторской диссертации. На основе этой теории предложены методы улучшения видения объектов через аэрозольные среды.

## *2. Экспериментальные исследования*

В связи с пуском в эксплуатацию малой и большой аэрозольных камер в корпусе модельных установок были продолжены исследования по переносу контраста с помощью лазерных пучков в различных модельных аэрозольных средах, начатые в лаборатории инфракрасных излучений СФТИ. Размеры камер (малая диаметром 4 и длиной 10 м, большая соответственно 10 и 27 м) и разнообразные методы создания в них аэрозолей позволили вести исследования в широком диапазоне оптических толщ вплоть до их значений, превышающих 100, т.е. в области глубинного режима. Результаты этих исследований составили содержание докторской диссертации В.А. Крутикова, ныне председателя президиума Томского научного центра СО РАН.

Другое важное направление экспериментальных исследований аэрозолей связано с созданием в Институте самолета-лаборатории Ан-30 «Оптик-Э», оснащенного разнообразной аппаратурой для исследований аэрозолей путем прямых измерений с использованием фотометров, нефелометров и лидаров. Проведенные в Институте многочисленные летные экспедиции более чем в 100 городах бывшего СССР позволили получить исключительно богатую информацию, обобщение которой проведено в двух докторских диссертациях лидеров этого направления Б.Д. Белана и М.В. Панченко. Особо отметим здесь результаты, полученные при обследовании атмосферы над озером Байкал и прозрачности его вод. Речь идет об обнаружении круговой циркуляции воздушных масс над этим озером, включая аэрозоли, не зависящей от направления переноса воздуха за пределами акватории озера, а также о создании диаграммы прозрачности байкальской воды по всей площади озера.

## **III. Распространение лазерных пучков в турбулентной атмосфере**

### *1. Теоретические исследования*

Главным результатом теоретических исследований в этом направлении можно считать создание теории, основанной на использовании принципа Гюйгенса – Френеля и обеспечивающей получение количественных оценок влияния турбулентной атмосферы на распространяющиеся в ней лазерные пучки на прямых и локационных трассах. Основоположники этой теории В.Л. Миронов и В.А. Банах успешно защитили докторские диссертации. В.А. Миронов с 1986 г. работает ректором Алтайского университета, в 1991 г. избран членом-корреспондентом РАН.

### *2. Экспериментальные исследования*

Направленность проведенных в Институте экспериментальных исследований на всеобъемлющий охват реализующихся в атмосфере условий и схем распространения оптического излучения, а также высокие характеристики разработанной аппаратуры позволили выполнить такие исследования, как оценка плотности вероятности сильных и насыщенных флуктуаций интенсивности, включая установление закономерности их пространственно-временной структуры, а также фазы лазерного излучения на прямых и локационных трассах в широком диапазоне изменения параметров турбулентной атмосферы. Отметим докторские диссертации, выполненные в этом направлении В.А. Покасовым и Г.Я. Патрушевым.

## **IV. Лазерное зондирование атмосферы**

Эта тема начала свое развитие сразу после открытия Института и на сегодня является центральной. Она объективно усилила комплексный подход к исследованию современных

проблем оптики атмосферы, дополнив его проблемой решения обратных задач, обеспечивающих получение количественной информации об атмосфере.

### *1. Теоретические исследования*

Два направления теоретических исследований были начаты вскоре после открытия Института: 1) решение обратных задач лазерного зондирования; 2) численное моделирование результатов зондирования при различных параметрах лидаров и моделей атмосферы. Лидер первого направления И.Э. Наац разработал алгоритмы решения обратных задач под разные схемы зондирования и для различных физических параметров атмосферы. Эти принципиально важные результаты были положены в основу его докторской диссертации.

Вторая докторская диссертация по первому направлению была успешно защищена А.А. Мицелем. В ней разработаны алгоритмы восстановления профилей влажности и других параметров атмосферы по данным лазерного зондирования.

Лидер второго направления Г.Н. Глазов провел численное моделирование лазерного зондирования при учете всех основных явлений взаимодействия лазерных зондирующих импульсов с атмосферой и прохождения эхосигналов через сложный тракт приемной системы лидаров. Полученные результаты составили основу его докторской диссертации.

### *2. Экспериментальные исследования*

Проблемы лазерного зондирования аэрозолей, включая разработку лидаров нескольких поколений, получение, обработку и интерпретацию результатов зондирования, были представлены в докторской диссертации И.В. Самохвалова. Основы метода лазерного зондирования скорости ветра с использованием корреляционного анализа эхосигналов были разработаны и реализованы Г.О. Задде и Г.Г. Матвиенко. Они же являются авторами разработки соответствующих лидаров. На основе всей совокупности их достижений оба успешно защитили докторские диссертации.

Докторская диссертация В.В. Зуева была посвящена важной проблеме взаимодействия молекул озона с частицами аэрозолей. Была создана уникальная многоканальная лидарная станция, обеспечивающая одновременное получение профилей озона в стратосфере, где расположен максимум концентрации озонового слоя и микрофизических параметров аэрозолей (концентрация и спектры размеров частиц). В результате исследований были неоднократно зарегистрированы озоновые дыры над г. Томском, обусловленные взаимодействием озона с частицами вулканических аэрозолей, выброшенных в стратосферу при извержении наиболее мощного вулкана Пинатубо, произошедшем в середине июня 1991 г. на Филиппинах.

## **V. Нелинейная и адаптивная оптика атмосферы**

Это новое направление оптики атмосферы обусловлено появлением и развитием лазеров с их уникальными свойствами, вызывающими нелинейные взаимодействия с атмосферой как средой, в которой распространяется излучение. Среди этих свойств прежде всего следует назвать необыкновенно высокую плотность мощности и энергии и сверхкороткие длительности импульсов излучения, которые могут быть реализованы в лазерах. Это направление начало свое развитие в лаборатории ИК-излучений за несколько лет до открытия Института оптики атмосферы.

### *1. Теоретические исследования*

Пионерные теоретические работы по воздействию мощного лазерного излучения на аэрозоли были продолжены в Институте в лаборатории С.С. Хмелевцова А.В. Кузиковским, развившим теорию процессов испарения и взрыва отдельных частиц и их ансамблей под воздействием мощного излучения – как непрерывного, так и импульсного. Эти работы были далее развиты Ю.Д. Копытиным и А.А. Земляновым в их докторских диссертациях с охватом других нелинейных эффектов. Были установлены пороги, при которых начинаются эти эффекты, а также исследована динамика их развития.

Исследования по адаптивной оптике были инициированы прежде всего необходимостью устранения или уменьшения искажающего влияния атмосферы на параметры распространяющегося через нее оптического излучения, включая лазерные пучки. Лидером этого направле-

ния и создателем соответствующей лаборатории Института является В.П. Лукин, защитивший кандидатскую и докторскую диссертации, работая в нашем Институте.

## *2. Экспериментальные исследования*

По всем исследованным нелинейным эффектам были получены соответствующие количественные данные об их динамике. При этом были разработаны оригинальные методики измерений быстропротекающих процессов, позволившие изучить их механизмы. Основные результаты этих сложных оригинальных экспериментальных исследований были обобщены в докторской диссертации ведущего экспериментатора В.А. Погодаева.

## **VI. Лазеры на парах металлов**

Это направление начало свое развитие еще в лаборатории инфракрасных излучений СФТИ по инициативе П.А. Бохана, ставшего затем первым заведующим лабораторией когерентных источников излучения Института оптики атмосферы, много сделавшим до отъезда в Новосибирск, где он через некоторое время защитил докторскую диссертацию, значительная часть материалов и публикаций по которой была сделана в нашем Институте, имя которого значилось на титульном листе диссертации.

Вскоре после создания СКБ «Оптика» в нем была организована лаборатория, главная цель которой состояла в практической организации основных результатов институтской лаборатории в виде образцов соответствующих лазеров.

За весь период существования этих лабораторий были проведены фундаментальные исследования по физике лазеров на парах металлов и их соединений, по преобразованию их излучений, по разработке новых методов возбуждения активных сред, а также разработана большая совокупность лазеров на парах металлов, генерирующих в широком диапазоне длин волн, включающем ближнюю ИК-, видимую и УФ-область спектра. Лазеры на парах меди разрабатывались в целой серии модификаций, каждая из которых отличалась прежде всего параметрами излучения (мощностью от долей ватта и до рекордной в свое время цифры 83 Вт; энергией в импульсе, частотой следования импульсов). Некоторые модификации были доведены до малосерийного производства, другие используются в лидарах, лазерных навигационных устройствах, созданных совместно в Институте и СКБ «Оптика». Основные результаты в этом направлении обобщены в докторской диссертации заведующего лабораторией Института Г.С. Евтушенко, ранее возглавлявшего лабораторию СКБ «Оптика».

## **VII. Информационные системы. Базы данных**

Развиваемый в Институте комплексный подход к решению современных проблем оптики атмосферы автоматически предполагает развитие соответствующих информационных систем, баз данных, пакетов программ.

Практически по всем направлениям исследований мы имеем базы данных, математические алгоритмы и программы, а также соответствующие информационные системы, обеспечивающие проведение численных экспериментов и получение на их основе новых знаний.

Среди информационных систем прежде всего отметим наиболее развитую геоинформационную систему, основы которой заложены в докторской диссертации В.С. Комарова.

## **VIII. Деятельность Института за последние годы**

Вплоть до объявленной М.С. Горбачевым перестройки и, в особенности, до объявленной кампании конверсии с начала 1989 г. Институт оптики атмосферы был наиболее богатым институтом АН СССР, выполнявшим огромные объемы НИР по хозяйственным договорам с головными учреждениями соответствующих отраслей промышленности. Все это время мы работали с постоянными заказчиками, которые полнокровно финансировали многие наши исследования, в том числе и фундаментальные. В последний год перед объявленной конверсией Институт имел объем бюджета 4 млн. руб. и годовой объем хозяйственных договоров 21 млн руб., при этом в очереди стояли другие богатые заказчики. С начала 1989 г. все заказчики мгновенно обеднели. За первую неделю 1989 г. объем договоров в Институте обвалюно уменьшился в 6 раз и в течение года еще в 4 раза. Таким образом, Институт, будучи одним из богатых в стране, стал буквально нищим. Во весь рост встала проблема выживания и Инсти-

туда, и СКБ «Оптика», численность работающих в которых на конец 1988 г. была соответственно одна тысяча и девятьсот человек, при этом 100% объемов работ в СКБ «Оптика» финансировалось из договоров Института с головными заказчиками.

Главная задача выживания Института состояла прежде всего в сохранении интеллектуального потенциала и уникальной материальной базы фундаментальных исследований. С самого начала была поставлена задача результативного поиска принципиально новых источников финансирования с одновременным постепенным сокращением числа работающих. Путем активных решительных действий дирекции, отделений и лабораторий Института эта задача была более или менее успешно решена к концу 1992 г. Численность Института за 4 года была сокращена на 40% и с тех пор не изменялась, при этом сокращение было проведено без потерь элитных кадров всех уровней, а материальная база сохранилась полностью и в последующие годы начала развиваться дальше.

С конца 1992 г. и до настоящего времени основным дополнительным источником финансов к скудному бюджетному финансированию стали валютные контракты с Ливерморской Национальной лабораторией США (8 контрактов, все по фундаментальной науке); ежегодные контракты по участию в Национальной программе США «Атмосферные радиационные измерения» (чисто фундаментальные программы); 2 контракта с Корейским институтом передовой науки и технологии (г. Тэйджон) на создание и поставку лидарных систем; ряд мелких контрактов с институтом Китайской академии наук; гранты Госдепартамента США и международного фонда Сороса (по фундаментальной науке); контракты с исследовательским центром Английского министерства обороны.

Одновременно с важными контрактами Институт заключает двусторонние соглашения по сотрудничеству в области фундаментальных исследований с учреждениями США, Франции, Германии, Китая, Туниса, Словении, получая соответствующую денежную поддержку со стороны Министерства науки (ныне ГКНТ) РФ. Значительный объем грантов РФФИ, получаемых Институтом по конкурсу, также весьма весомая часть финансов сверх базового бюджета.

Институт имеет свое издательство, в котором мы издаем ежемесячный журнал «Оптика атмосферы и океана» как на русском, так и на английском языках, обеспечивая все операции, начиная от их подписки и кончая рассылкой журналов подписчикам. В этом же издательстве выпускаются монографии ученых Института оптики атмосферы и других институтов на коммерческой основе.

Вся совокупность усилий Института по обеспечению дополнительного финансирования позволила нам стабилизировать общую ситуацию и продолжить приоритетные программы фундаментальных исследований, о наиболее важных результатах которых речь пойдет ниже.

Прежде всего остановимся на самой сложной и важной проблеме деструкции озонового слоя земной атмосферы. По данным Всемирной метеорологической организации, за последние десятилетия интегральная концентрация озона в среднем за год уменьшается на 0,4%. Если предположить, что этот процесс и дальше будет проходить с такой же скоростью, то уже в обозримом будущем на нашей планете произойдет глобальная катастрофа, поскольку озоновый биологический щит перестанет защищать все живое на Земле от губительной коротковолновой радиации Солнца. Понятно, что проблема озона сегодня беспокоит все человечество и что ее исследование как важнейшей комплексной проблемы глобального масштаба не терпит промедлений, в том числе в России, несмотря на ее современное состояние глубокого кризиса.

Впервые озоновая дыра была зарегистрирована измерениями из космоса, когда она была локализована над Антарктидой. В последующие годы площадь «дыры» расширялась в Южном полушарии планеты, и наконец, в последние годы зарегистрированы озоновые дыры в Северном полушарии, в частности над значительной территорией Западной Европы и над Восточной Сибирью. Не имея надежных данных о причинах появления озоновых дыр над обширными территориями Земли, рассуждая чисто качественно, можно предположить, что, вероятно, главную роль играют не антропогенные, а естественные факторы, изучение совместного и раздельного действия которых следует считать особо важной задачей озонной проблемы. Особо следует подчеркнуть значение тех программ, которые призваны решить проблему механизмов деструкции молекул озона при различных метеорологических условиях и синоптических ситуациях.

Комплексное исследование озонной проблемы требует разработки методов и технических средств прежде всего дистанционного зондирования концентрации озона и всех главных ком-

понентов озонового цикла из космоса, с самолетов, с кораблей и наземными стационарными и мобильными системами.

Анализ современного состояния проблемы озона показывает, что космические методы получения профилей озона по ряду важных причин пока не используются, самолетные и в особенности корабельные исследования дают фрагментарные данные, существующая сеть аэрологических станций не обеспечивает зондирование профилей озона с необходимой плотностью по территории и во времени. Так, например, на всей территории России не проводятся запуски озонозондов. Сеть наземных станций, определяющих полное содержание озона в вертикальном столбе атмосферы, может рассматриваться как важное дополнение к упомянутому методу космического зондирования. Лидарные станции, обеспечивающие зондирование профилей озона с Земли, распределены неравномерно и зондирование на них ведется нерегулярно.

Исследование физических и химических механизмов деструкции озона требует прежде всего одновременного получения надежных количественных данных о профилях концентрации озона в максимуме, т.е. в нижней стратосфере, а также аэрозолей и многих других компонентов на этих же высотах, а также аналогичных данных в толще тропосферы. Хотя нижние слои тропосферы не вносят в проблему озоновых дыр сколько-нибудь значительного вклада, тем не менее многократно зарегистрированные в приземном слое атмосферы эпизодически существенные увеличения концентрации озона, опасные для здоровья людей, требуют усилить внимание и к этому вопросу.

Примером серьезной заявки на решение проблемы исследования физических и химических механизмов деструкции озонового слоя, начиная от поверхности Земли и до высот порядка 50 км, следует считать создание, развитие и использование уникальной Сибирской лидарной станции Института оптики атмосферы СО РАН, для размещения которой был построен специальный 4-этажный корпус. В настоящее время станция обеспечивает одновременное зондирование профилей концентрации озона, отношения коэффициентов аэрозольного и рэлеевского обратного рассеяния, концентрации и спектров размеров частиц аэрозолей, температуры, влажности при использовании длин волн лазерного зондирующего излучения. При этом регистрация лидарных сигналов через независимые каналы осуществляется в приемных системах телескопами с диаметром зеркал 2,2; 1,0; 0,5 и 0,3 м.

Одновременно с получением лидарных данных проводится зондирование профилей  $\text{NO}_2$  с помощью сумеречного спектрофотометра, а к концу 1996 г. планируется спектрофотометрирование  $\text{NO}_3$ . Кроме того, ведутся радиозондовые и озонозондовые измерения. При необходимости привлекаются мобильные лидары для зондирования профилей скорости и направления ветра, других параметров. Разумеется, что кроме создания описанной уникальной материальной базы станции проделана огромная работа по решению сложнейших некорректных обратных задач.

С помощью указанной системы зондирование аэрозолей (отношение рассеяния) начато в 1986 г., озона – в 1989, микрофизических параметров аэрозолей – в 1991, температуры – в 1994, профилей –  $\text{NO}_2$  – в 1995 г. Профили аэрозольных характеристик и озона систематически одновременно получились с момента появления вулканических облаков от вулкана Пинатубо, с первого дня их появления над Томском 29.06.1991 г., и до исчезновения их следов в 1995 г. Программа по исследованию озонной проблемы связана с использованием самолета-лаборатории Института «Ан-30-Э». Проводившиеся на ней многочисленные экспедиции практически по всей территории бывшего СССР неоднократно регистрировали в различных местах и на разных высотах результаты взаимодействия озона как с аэрозолями, так и с газовыми компонентами в тропосфере. Так, например, в атмосфере городов Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре концентрация озона при его взаимодействии с аэрозолями в преобладающем ряде случаев уменьшается, но может и возрасть. Подобные самолетные исследования экологической ситуации в атмосфере над городом Нижневартовском, известнейшем новым городом нефтяников в Тюменской области, неоднократно регистрировали нулевые концентрации озона на высотах в несколько сотен метров, обусловленные суммарным воздействием  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ .

Из этого можно сделать неоднозначный вывод о беспорном влиянии на концентрацию молекул озона в тропосфере антропогенного фактора. При этом указанное влияние может иметь как отрицательный, так и положительный знак. В связи с этим следует подчеркнуть, что имеющихся надежных количественных данных явно не достаточно для того, чтобы можно было сделать соответствующие обоснованные выводы, не прибегая к дополнительным систематическим и целенаправленным исследованиям.



Отметим также, что наличие валютных контрактов позволило Институту закупить достаточное количество персональных компьютеров западного производства, а также оснастить издательство Института современным полиграфическим оборудованием. Одновременно с этим Институт имеет высокие, непрерывно повышающиеся показатели по научным статьям и докладам, опубликованным как в центральных журналах России, так и в зарубежных, и соответственно докладам на научных конференциях в России и за рубежом. Так, за 1995 г. общее количество статей и докладов на одного ученого оказалась равным 3,25, в результате Институт занял с большим отрывом первое место среди 19 институтов Отделения океанологии, физики атмосферы и географии РАН, включая институты центральной части, а также Сибирского и Дальневосточного отделений РАН.

В Институте все эти годы эффективно работает антикризисная комиссия, обеспечившая разработку и реализацию мероприятий по экономии энергетических ресурсов, совершенствованию организационной структуры и повышению эффективности деятельности всех звеньев Института. Уже 4 года успешно работает контрактная система оплаты труда. Важную роль играет директорский фонд.

С конца 1992 по конец 1996 г. в Институте защищено 16 докторских диссертаций.

### **Суммарные цифровые показатели по оптике атмосферы за 40 лет в Томске**

<i>Опубликовано статей</i>	4500
<i>Прочитано докладов на конференциях</i>	5300
<i>Издано монографий в том числе за рубежом</i>	120
	10
<i>Проведено конференций и симпозиумов</i>	60
<i>Защищено диссертаций:</i>	
<i>докторских</i>	40
<i>кандидатских</i>	170
<i>Получено авторских свидетельств, патентов</i>	475

Из числа сотрудников Института избраны в РАН (АН СССР) 1 академик и 3 члена-корреспондента, 5 удостоены звания лауреатов Государственной премии СССР и 2 – звания лауреатов Государственной премии РСФСР, 2 сотрудника – лауреаты премии Совета Министров СССР, 1 – Герой Социалистического Труда СССР.

Безусловно, львиная доля этих показателей относится к Институту оптики атмосферы, тем не менее следует особо подчеркнуть роль в этих показателях лаборатории инфракрасных излучений Сибирского физико-технического института Томского госуниверситета, о чем уже было отмечено выше. Что касается главных результатов по оптике атмосферы за 40-летний период в г. Томске, прежде всего следует особо отметить создание крупнейшей научной школы, признанной в мире.

### **Ближайшие перспективы Института**

В данном разделе речь пойдет о фундаментальных исследованиях, планируемых на ближайшие годы, финансирование которых в основном должно поступать от новых валютных контрактов. Конкретно это наши предложения Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории США, точнее ее части, связанной с крупнейшим проектом создания Международного научного центра по проблемам улучшения окружающей среды, главное требование к которым наряду с оригинальностью соответствующих технологий – обеспечить их экономическую эффективность. При этом основной акцент всей проблемы ставится на науке об окружающей среде, на ведущие фундаментальные исследования на молекулярном уровне. Говоря другими словами, речь идет в конечном счете об исследовании протекающих в атмосфере, мировом океане и твердой поверхности Земли процессов прежде всего с точки зрения познания многообразных механизмов этих процессов, включая взаимодействие всех трех внешних оболочек Земли друг с другом.

Ниже кратко характеризуются предложения нашего Института.

1. Исследование физических и химических механизмов озонового истощения атмосферы. Цель этого проекта связана с тем, что на сегодняшний день, несмотря на многочисленные и долговременные исследования, нет четкой общепринятой концепции глобального изменения

озонового слоя и понимания причин и механизмов современного уменьшения атмосферного озона. Как известно, в фотохимии стратосферного озона окислы азота имеют большое значение. Связывая очень активные соединения хлора в нейтральные для реакции с озоном химические соединения-резервуары, окислы озона тем самым создают препятствие для действия более активного хлорного каталитического цикла уничтожения молекул стратосферного озона. Однако чтобы в реальной атмосфере точно оценить эти процессы и установить количественную связь между ними, необходимо избежать очень сильного влияния в нижней и средней стратосфере динамических факторов.

Одним из направлений данного проекта является изучение динамических и фотохимических механизмов и процессов в стратосфере, обуславливающих содержание, распределение и изменчивость, а также взаимодействие между собой составляющих семейства нечетного азота ( $\text{NO}_2$  и  $\text{NO}_3$ ) и озона, участвующих в каталитическом разрушении озона. Исследования выполняются на основе результатов спектрофотометрических измерений, проводимых на Сибирской лидарной станции (СЛС) ИОА СО РАН в Томске. Второе направление исследований в этом проекте заключается в изучении зависимости содержания стратосферного озона от изменчивости характеристик стратосферного аэрозоля как в условиях фонового состояния стратосферного аэрозольного слоя (САС), так и в периоды присутствия аэрозольных образований типа полярных стратосферных облаков или повышенного содержания стратосферного аэрозоля вулканического происхождения. Исследования по обоим направлениям выполняются на основе данных лидарных и спектрофотометрических измерений, проводимых на Сибирской лидарной станции Института.

2. Определение компонентов воздуха антропогенного происхождения, генерирующих озон в тропосфере. Дело в том, что озон в тропосфере представляет собой сильнодействующий яд, оказывающий прямое отравляющее воздействие на биологические объекты. Будучи сильным окислителем, он, кроме того, вызывает коррозию или разрушение многих веществ, даже таких устойчивых, как элементы платиновой группы. В естественных условиях озон присутствует в небольших количествах и играет положительную роль, так как быстро окисляет вредные примеси. Вместе с развитием промышленности начался процесс увеличения концентрации тропосферного озона. Во многих местах земного шара в настоящее время его концентрация превышает предельно допустимые значения, установленные национальными стандартами. Выполненные к данному моменту исследования выявили большое количество фотохимических циклов, в которых может образовываться озон, и несколько сотен веществ, из которых он может образовываться. Тем не менее проблема тропосферного озона не решена до сих пор. Так, например, в большинстве случаев перевод транспорта и энергоустановок на природный газ, казалось бы, более экологически чистое топливо, приводит к тому, что в этом городе начинается генерация озона (к таким местам относится и город Томск). Представляется вероятным, что до сих пор не найден тот основной цикл, который «запускает» все остальные механизмы генерации озона. В этом состоит основная цель указанного проекта.

3. Исследование механизмов взаимодействия турбулентного поля ветра и поля концентрации аэрозолей в пограничном слое атмосферы. В проекте предполагается проведение экспериментальных исследований статистических связей между первоосновой атмосферного турбулентного течения в виде пульсаций скорости потока и различного рода примесями этого потока, такими как теплота, влага и аэрозольные частицы. Создание методологии учета установленных корреляционных связей в прогнозе диффузии загрязняющих примесей в атмосфере. Необходимость предсказания диффузии и переноса загрязнений из мест опасных производств требует знания высотных профилей характеристик атмосферной турбулентности и скорости ветра, которые играют важную роль при формировании аэрозольных полей в пограничном слое атмосферы, обеспечивая вынос аэрозольных частиц и ядер конденсации от земной (океанической) поверхности. Статистические свойства атмосферной аэрозольной примеси (аэрозольсодержания), несмотря на ее увлекаемость, консервативность и пассивность, существенно могут отличаться от аналогичных свойств самого турбулентного потока и теплосодержания.

4. Лидарные исследования оптико-физических свойств, трансформации и переноса аэрозолей антропогенного происхождения. Особенности антропогенных аэрозолей, ставящими их в отдельный класс, являются: специфическая химическая природа, многослойность частиц, наличие тяжелых металлов. Эти аэрозоли, находясь в атмосфере, вступают во взаимодействие с окружающей средой и видоизменяются, оседают и переносятся ветром и турбулентностью и выпадают на значительных территориях. Существенные модели поведения антропогенного

аэрозоля в атмосфере очень приближены и требуют развития. При этом интерес представляют как изменение свойств (оптических и физических), так и процессы его пространственной диффузии. С этой точки зрения аэрозольные лидары, сочетающие высокое пространственное разрешение (единицы метров) и достаточную дальность действия (10 км и более), представляют собой эффективное средство для получения первичной информации об источниках аэрозолей (координаты, интенсивность) и их оптических и физических свойствах, перемещении и диффузии. Задачами проекта являются:

- развитие метода лазерного зондирования параметров антропогенного аэрозоля и селекции его на фоне естественного (фонового) аэрозоля,
- лидарные исследования и разработка моделей трансформации оптико-физических свойств антропогенного аэрозоля и его диффузии,
- создание геоинформационной системы имитационно-моделирующего комплекса,
- районирование территории и подготовка рекомендаций по размещению источников аэрозоля, учитывающих особенности данного аэрозоля и топографические условия.

5. Исследование механизмов оптического селективного возбуждения химических связей молекулы с целью управления химическими реакциями при уничтожении отходов.

Перспективным направлением управления химическими реакциями является использование локализованных (замороженных) колебательных кластеров при высоком возбуждении молекул. Высокое колебательно-вращательное возбуждение ведет к качественной перестройке молекулярного спектра, необъяснимой в рамках общепринятой теории. В предельном случае концепции локальных мод колебательное возбуждение представляется сосредоточенным на одной связи. Время жизни таких состояний оказывается большим по сравнению с периодом вращения молекулы. То есть вращательная структура колебательных состояний, близких к пределу локальных мод, должна демонстрировать особые черты, отражающие локальный характер колебаний. Неудивителен огромный интерес, проявляемый в последние годы к локальным колебаниям в молекуле: здесь открывается реальная перспектива поиска (и приготовления) долгоживущих колебательных состояний, необходимых для осуществления лазерного селективного возбуждения связей с выходом на управление химическими реакциями. Главной целью предлагаемого проекта является исследование колебательно-вращательной энергетической структуры молекул ( $H_2O$ ,  $H_2S$  и других, представляющих интерес для Pacific Northwest National Laboratory) в пределе локальных мод и при высоких значениях углового момента с целью поиска (и возбуждения) долгоживущих колебательных состояний, необходимых для осуществления лазерного селективного возбуждения связей с выходом на управление химическими реакциями.

6. Контроль ультрамалых концентраций загрязняющих атомов и молекул на основе лазерной спектроскопии. В Институте разработаны сверхчувствительные лазерные спектрометры, обеспечивающие количественный анализ концентрации атомов Na, Ba, Cs, K, Rb, Sr, Sm, Tm, Eu, V и других до  $10^{-5}$ – $10^{-10}$  атм/см<sup>3</sup> с использованием внутривибрационной спектроскопии при локальных изменениях. Метод флуоресцентной лазерной спектроскопии может быть применен как для локальных, так и дистанционных измерений. При этом использование спектрально-временной селекции и каскадного возбуждения устраняет влияние других веществ и обеспечивает тем самым высокую чувствительность при измерениях концентрации исследуемого вещества. Показано, что спектральный диапазон используемых для возбуждения флуоресценции лазеров позволяет измерять в воздухе концентрации молекул и радикалов  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $NO$ , benzene, xylene, OH, HCl,  $Cl_2$ ,  $H_2S$ ,  $Cl_2O$ ,  $CH_3Cl$ ,  $CCl_4$ ,  $ClONO_2$  и многие другие на уровне  $10^6$ – $10^{10}$  мол/см<sup>3</sup>.

7. Разработка методов измерения констант скоростей кинетических процессов и химических реакций в газовых средах и на поверхности для селективно возбужденных молекул. Для многих молекул, играющих ключевую роль в процессах парникового разогрева атмосферы или деградации озонового слоя, таких как  $O_3$ ,  $C_xH_y$ ,  $H_2O$ , фотооксиданты, фреоны и др., так же, как и для молекулярных соединений, используемых в современной технологии полупроводниковых слоев, тонких пленок, катализаторов, надежные количественные данные по упомянутым выше константам кинетических процессов и скоростям газофазных химических реакций с участием селективно-возбужденных молекул неполны или отсутствуют.

Результаты многолетних фундаментальных и прикладных исследований по спектроскопии молекул и взаимодействию лазерного излучения с молекулярными средами и атмосферой, проводимых в Институте оптики атмосферы СО РАН, позволяют реализовать новые методы измерений параметров кинетических процессов при взаимодействии селективно-возбужденных молекул в газе и с поверхностью микрочастиц и твердого тела. Эти методы ос-

нованы на измерениях характерных особенностей формирования сигнала в камере оптико-акустического детектора в условиях конкуренции релаксации селективно возбужденных лазерным излучением молекул за счет столкновений в газе и с поверхностью стенок ячейки. Принципиальные технические решения защищены патентами (№ 711834 от 10.04.78 г.; № 818270 от 26.11.79 г.; № 1126078 от 06.04.83 г. и № 1485793 от 19.08.87 г.).

8. Вклад потоков  $\text{CO}_2$ , генерируемых растительностью при природных и техногенных стрессовых воздействиях, в развитие парникового эффекта. В данном проекте предполагается проведение систематических измерений на суше при дозированном воздействии таких стрессовых факторов, как повышение концентрации газов антропогенного происхождения (окиси углерода, углеводородные соединения, окислы азота и серы), а также вариации давления, температуры, интенсивности УФ-радиации. На основе результатов измерений будет проведена оценка вклада дополнительных потоков  $\text{CO}_2$ , генерируемых растительными биосистемами в условиях техногенных стрессов, в радиационные процессы в атмосфере и климатические модели. На основе закономерностей кинетики выделения  $\text{CO}_2$  различными системами и серии биотестов будут предложены методики оценки порогов техногенных стрессовых воздействий на растительные культуры в индустриальных зонах.

### **О деятельности СКБ (ныне КТИ) «Оптика»**

Как уже было сказано выше, СКБ «Оптика» создавалось с целью разработки и производства любой техники, необходимой для фундаментальных исследований Института. Для реализации этой цели потребовалось создать все необходимые звенья технологической цепочки ее разработки и изготовления в производстве. Например, для производства лидаров кроме лазеров необходима специальная, в том числе крупногабаритная, оптика, поворотные столы, автоматика, приемники, фильтры и т.п. Кроме того, как на любом производстве, должны быть все испытательные стенды. Именно такой подход и был реализован.

Следует особо остановиться на уникальности экспериментально-производственной базы СКБ. Прежде всего перечислим основные корпуса или тематические блоки: это корпус, в котором размещены конструкторские бюро, подразделения разработчиков соответствующей аппаратуры, включая технологов, экспериментальные цеха, 1-й инженерный корпус, оптический корпус, корпус общего назначения, специальный корпус микроэлектроники, 2-й инженерный корпус. Во всех корпусах было установлено современное оборудование, в частности в корпусе микроэлектроники значительная часть технологического оборудования была уникальной в полном смысле слова, т.е. она не производилась серийно. Вся технологическая линейка была создана на одной из электронных фирм в г. Зеленограде и только в двух местах была повторена в СССР, в том числе в нашем СКБ «Оптика». Она была полностью подготовлена к пуску, когда грянула перестройка. А ведь владея этой технологией, можно было создавать любые надежные системы на базе отечественной комплектации, включая системы для установки на бортах космических носителей.

Технологии по производству оптики к моменту перестройки обеспечивали производство более 250 наименований, в том числе зеркала с диаметром до 1 м, призмы, линзы, объективы, интерференционные фильтры и т. д. Таким образом, КТИ «Оптика» имел возможность конструировать и создавать любые современные оптико-электронные системы, включая наиболее сложные из них – лидары наземного, самолетного, корабельного и космического базирования.

Все корпуса СКБ (общей площадью около 30000 м<sup>2</sup>) были построены и оснащены благодаря героическим усилиям всего коллектива.

В заключение приведем перечень лидаров, разработанных в Институте и созданных в СКБ, с помощью которых получены или будут получены уникальные результаты лазерного зондирования атмосферы.

1. Три многочастотных стационарных лидарных комплекса.
2. Самолетные лидары для зондирования атмосферных аэрозолей, включая их элементный состав, а также для определения прозрачности верхних слоев водных бассейнов.
3. Флуоресцентные лидары корабельного базирования для зондирования поверхностных слоев океанов и морей.
4. Мобильные лидары многоцелевого назначения (зондирование аэрозолей, наклонной видимости в аэропортах, определение нижней границы облаков и т.д.).
5. Мобильный спектроскопический лидар для определения атомарного состава аэрозолей, включая соли тяжелых металлов, при зондировании также воды и минералов.

6. Мобильный рамановский лидар для зондирования профилей температуры, влажности и аэрозолей, а также дистанционного определения выбросов из труб промышленных объектов газовых загрязнителей и сажи и скорости их на устьях труб.

7. Мобильная лазерная система для определения концентрации газовых загрязнителей атмосферы на 20 газов.

8. Лидар для зондирования профилей концентрации водяного пара (влажности).

9. Лидар для зондирования скорости ветра.

10. Первый космический лидар «Балкан-1», направленный под монтаж на модуле «Спектр» космической станции «Мир» в декабре 1990 г. и запущенный 20 мая 1995 г., хотя его запуск первоначально намечался на конец 1992 или начало 1993 г.

1. Зуев В.Е. Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей. М.: Сов. радио, 1966. 318 с.
2. Зуев В.Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. М.: Сов. радио, 1970. 496 с. Издана на английском языке. John Wiley and Sons, LTD, 1974. 406 p.
3. Зуев В.Е., Кабанов М.В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех). М.: Сов. радио, 1977. 368 с.
4. Зуев В.Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. М.: Сов. радио, 1981. 288 с.
5. Zuev V.E. Laser Beams in the Atmosphere. Plenum. New York, 1982. 504 p.
6. Зуев В.Е., Наац И.Э. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1982. 242 с.
7. Zuev V.E., Naats I.E. Inverse problem of lidar sensing of the atmosphere. Springer-Verlag, 1983. 260 p.
8. Зуев В.Е., Землянов А.А., Копытин Ю.Д., Кузиковский А.В. Мощное лазерное излучение в атмосферном аэрозоле. Новосибирск: Наука, 1984. 222 с. Издана на английском языке. D. Reidel, Dordrecht, 1984. 291 p.
9. Макушкин Ю.С., Тютюрев В.Г. Методы возмущений и эффективные гамильтонианы в молекулярной спектроскопии. Новосибирск: Наука, 1984. 235 с.
10. Гордов Е.П., Творогов С.Д. Метод полуклассического представления в квантовой теории. Новосибирск: Наука, 1984. 166 с.
11. Несмелова Л.И., Родимова О.Б., Творогов С.Д. Контур спектральной линии и молекулярное взаимодействие. Новосибирск: Наука, 1986. 212 с.
12. Лукин В.П. Атмосферная адаптивная оптика. Новосибирск: Наука, 1986. 245 с. Издана на английском языке. SPIE. Seria. 1996. V. 23. 287 p.
13. Глазов Г.Н. Статистические вопросы лидарного зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1987. 312 с.
14. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О. Оптическая погода. Новосибирск: Наука, 1990. 192 с.
15. Серия Библиотека монографий «Современные проблемы атмосферной оптики» под общей редакцией академика В.Е. Зуева в 9 томах. Л.: Гидрометеониздат, 1986–1992. Т. 1–8. / Т. 1. Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. 1986. 264 с. / Т. 2. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы. 1986. 256 с. / Т. 3. Зуев В.Е., Макушкин Ю.С., Пономарев Ю.Н. Спектроскопия атмосферы. 1987. 247 с. / Т. 4. Зуев В.Е., Кабанов М.В. Оптика атмосферного аэрозоля. 1987. 254 с. / Т. 5. Зуев В.Е., Банах В.А., Покасов В.В. Оптика турбулентной атмосферы. 1988. 270 с. / Т. 6. Зуев В.Е., Землянов А.А., Копытин Ю.Д. Нелинейная оптика атмосферы. 1989. 256 с. / Т. 7. Зуев В.Е., Наац И.Э. Обратные задачи оптики и атмосферы. 1990. 286 с. / Т. 8. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. 1992. 232 с. / Т. 9. Зуев В.Е., Титов Г.А. Оптика атмосферы и климат. Томск: изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы, 1996. 275 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
14 января 1997 г.